

PENGARUH KOMPOSISI NANO SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

Dion Aji Fadlillah, Frisky Sustiwawan, Han Ay Lie^{*)}, Purwanto^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Pori-pori mikro dalam pasta semen akan mengurangi kekuatan menahan beban pada suatu elemen karena terjadinya pengurangan area. Di sisi lain, lemahnya interfasia antara agregat dan mortar akan menyebabkan terjadinya retak mikro dan mengakibatkan perambatan retak. Oleh karena itu menjadi sangat penting untuk mengurangi jumlah pori-pori pada mortar dan meningkatkan hidrasi semen yang lebih sempurna. Sebuah metode yang telah terbukti efektif adalah penggunaan butiran nano semen. Butiran semen yang lebih kecil akan menghasilkan proses hidrasi yang lebih baik, menghasilkan ettringites dan kalsium hidroksida yang lebih kecil. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh komposisi nano semen pada mortar dengan metode substitusi. Perbandingan dari berat nano semen dibandingkan dengan semen biasa bervariasi antara 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Spesimen yang digunakan berukuran 50 × 50 × 50 mm dan diuji pada usia 28 hari untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Perbandingan semen dan pasir 1 berbanding 2.75 dengan nilai faktor air semen 0.485 digunakan dalam penelitian ini. Dua tipe semen, PCC (Portland Composite Cement) and PPC (Portland Pozzolane Cement), semen yang umum digunakan di Indonesia, dibandingkan untuk mendapatkan gambaran kondisi semen di Indonesia secara keseluruhan dan efektifitas dari penggunaan nano semen pada tiap tipe semen.

kata kunci : nano semen, kuat tekan, tipe semen dan merk

ABSTRACT

The micro voids in the cement paste of cementitious material drastically reduce the load-carrying capacity of the element, due to the reduction in area. On the other hand, the weak interface between aggregates and mortar induces micro-crack initiation and promote crack propagation. It therefore becomes curial to reduce the voids in the mortar, and promotes a better hydration degree of cement. A method that has been proven effective is the use of nano-cement particles. The smaller cement particles will result in a better hydration process, and create less large ettringites and calcium hydrates. This research work studied the effect of nano-cement percentage in the mortar mix by the substitution method. The ratio in weight of the nano-cement with respect to the normal cement ranged from 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, to 100%. The specimens sized 50 × 50 × 50 mm were

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

tested at the age of 28 days to obtain their compression strength. The cement-to-sand proportion was 1 to 2.75, while a water-cement-ratio of 0.485 was maintained throughout the experiments. Two cement types, PCC (Portland Composite Cement) and PPC (Portland Pozzolane Cement), all Indonesian based products, were compared to obtain a picture of the overall cement condition in Indonesia, and the effectiveness of the nano-cement use to each of the types.

keywords: *nano-cement, compressive strength, cement type and brand*

PENDAHULUAN

Nano teknologi merupakan rekayasa ukuran materi pada skala sepermilyar meter (10^{-9} m). Penggunaan nano teknologi dapat mempengaruhi perilaku dari suatu material dengan merubah ukuran tanpa merubah kandungan kimianya. Nano material yang digunakan diketahui dapat memberikan efek yang sangat besar dikarenakan luasan area yang lebih besar dibanding material biasa. Penggunaan nanomaterial pada material konstruksi berfungsi sebagai material pengisi (*filler*) maupun sebagai material pengikat dapat meningkatkan performa ITZ antara semen matrix dan agregat yang akan meningkatkan kualitas dari semen matrix itu sendiri.

Banyak kajian yang telah dilakukan dibidang rekayasa bahan yang memanfaatkan teknologi nano ini. Penelitian nano semen dilakukan untuk mengoptimalisasi susunan material sehingga didapatkan kepadatan material yang sangat padat (*packing density*). Kepadatan ini diperoleh dengan prinsip pengisian pori yang terbentuk dengan material berukuran nanometer (Hardjasputra *et al.* 2011; Jo *et al.* 2007). Dengan menggunakan butiran semen yang lebih halus akan meningkatkan kuat tekan mortar. Pengepakan partikel yang terjadi semakin baik, dan porositas yang terjadi lebih rendah (Arteaga *et al.* 2013). Penggunaan nano semen juga meningkatkan kuat tekan serta tarik lentur murni pada beton dan menghasilkan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional. (Dewi *et al.* 2013)

Penelitian ini diharapkan untuk melengkapi hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Fokus yang dilakukan dengan substitusi semen dengan nano semen. Kadar nano semen yang berbeda diaplikasikan pada mortar dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:2.75 dan FAS 0.485 dan diuji kuat tekannya pada usia spesimen 28 hari. Penelitian ini juga mengamati trendline yang dihasilkan dengan aplikasi substitusi nanosemen pada mortar pada tipe semen PCC (*Portland Composite Cement*) dan PPC (*Pozzolan Portland Cement*). Kedua tipe semen ini diperkecil kedalam ukuran nano secara mekanis.

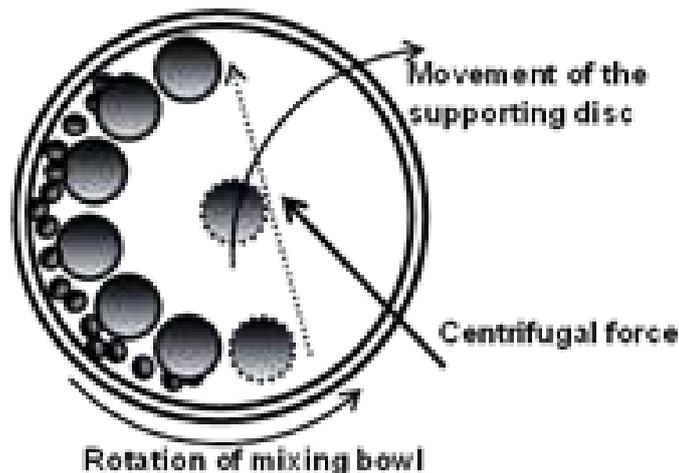
METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi dalam penelitian ini, antara lain:

1. Tahap persiapan penelitian.
Dimulai dengan mencari literatur yang berhubungan dengan penelitian. Literatur didapatkan dari buku-buku studi maupun dari buku pedoman.
2. Tahap persiapan dan pengujian material.
Bahan yang akan digunakan untuk penelitian dipersiapkan dan dilakukan pengujian

terlebih dahulu untuk mengetahui apakah material yang digunakan telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Material yang digunakan untuk membuat benda uji antara lain :

- a. *Portland cement* menggunakan semen jenis PCC (SNI 15-7064-2004) dan PPC (SNI 15-0302-2004). *Portland Cement Composit* (PCC) yaitu semen hidrolis yang dibuat dari hasil penggilingan terak (*clinker*) semen portland dengan bahan tambahan berupa gypsum dan satu atau lebih bahan anorganik mencapai 35% (SNI 15-7064-2004). *Pozzolan Portland Cement* (PPC) yaitu semen hidrolis yang dibuat dari hasil penggilingan terak (*clinker*) semen portland dengan bahan tambahan berupa pozzolan mencapai 40% (SNI 15-0302-2004). Kedua jenis semen dianalisa nilai konsistensi normalnya (ASTM C-187) dan waktu ikat awal (ASTM C-191) dengan pengujian standar yang telah ditetapkan ASTM.
 - b. Agregat halus yang digunakan dicuci dan dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar lumpur dan zat organis yang terkandung di dalamnya. Analisa yang dilakukan berupa analisa saringan (ASTM C-33), kadar air (ASTM C-128), berat isi (ASTM C-29), serta kadar lumpur dan zat organis (ASTM C-117; ASTM C-40-92). Semua analisa dilakukan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan ASTM.
 - c. Air menggunakan air PDAM.
3. Pengkonversian material semen ke ukuran nano.
Semen yang digunakan dalam penelitian ini dikonversi ke dalam skala nano menggunakan alat *Planetary Ball Mill* (PBM). Prinsip kerja alat PBM dengan memanfaatkan energi tumbukan dari bola-bola *zincronium oksida* (ZrO_2). Bola-bola ZrO_2 dan material yang akan dikonversi ukurannya, dimasukkan ke dalam satu bejana, kemudian diputar dengan kecepatan tinggi. Dalam bejana tersebut akan terjadi tumbukan antara bola-bola ZrO_2 dan material yang dimasukkan seperti yang terlihat pada gambar 1. Tumbukan ini menciptakan mekanisme penggerusan material, sehingga menghasilkan material dengan butiran dengan skala nano. Proses ini dilakukan pada kecepatan 800 rpm selama 30 menit. Alat PBM dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Skema Kerja *Planetary Ball Mill* (PBM)



Gambar 2. Planetary Ball Mill (PBM) Tipe Retch PM 400

4. Analisa Ukuran Partikel dengan Alat *X-Ray Diffractometer (XRD)*.

X-Ray Diffractometer (XRD) merupakan teknik analisis non destruktif untuk mengidentifikasi dan menentukan secara kuantitatif tentang bentuk berbagai kristal (fase). Analisa XRD dilakukan untuk menyelidiki seberapa besar ukuran butiran semen yang telah dikonversi menggunakan alat PBM dan sudah termasuk dalam kategori material nano. Syarat dari material nano adalah 0 - 100 nm. Hasil dari pengujian alat XRD akan berupa grafik, dimana grafik tersebut akan memiliki beberapa puncak. Puncak-puncak grafik tersebut, dianalisa dengan menggunakan persamaan *Scherer*, sehingga didapat ukuran dari bulir kristal semen.

5. Tahap pembuatan benda uji.

Benda uji berupa kubus mortar (50x50x50mm) menggunakan 2 jenis semen yang berbeda. Kadar substitusi nano semen yang digunakan 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% untuk setiap jenis semen. Benda uji dibuat sebanyak 4 buah untuk setiap kadar nano semen pada tiap jenis. Perincian benda uji seperti yang terlihat pada Tabel 1.\

Tabel 1. Benda Uji Penelitian

Kode Benda Uji	Benda Uji	
PCC 0	Kubus mortar nano PCC 0%	4 buah
PCC 20	Kubus mortar nano PCC 20%	4 buah
PCC 40	Kubus mortar nano PCC 40%	4 buah
PCC 60	Kubus mortar nano PCC 60%	4 buah
PCC 80	Kubus mortar nano PCC 80%	4 buah
PCC 100	Kubus mortar nano PCC 100%	4 buah
PPC 0	Kubus mortar nano PPC 0%	4 buah
PPC 20	Kubus mortar nano PPC 20%	4 buah
PPC 40	Kubus mortar nano PPC 40%	4 buah
PPC 60	Kubus mortar nano PPC 60%	4 buah
PCC 80	Kubus mortar nano PPC 80%	4 buah
PCC 100	Kubus mortar nano PPC 100%	4 buah

Pembuatan benda uji dengan tahap pekerjaan sebagai berikut:

- a. Memasukkan air suling ke dalam mangkok pengaduk, kemudian memasukkan semen yang sudah ditimbang perlahan-lahan, mengaduk kedua bahan dalam mangkok pengaduk selama 30 detik.
- b. Mencampur air suling dan semen dengan menggunakan mesin pengaduk (Mixer) selama 30 detik; kecepatan putaran mesin pengaduk adalah 140 ± 5 putaran per menit.
- c. Memasukkan pasir yang sudah disiapkan sedikit demi sedikit ke dalam mangkok yang berisi campuran semen-air suling sambil diaduk dengan kecepatan yang sama dalam 30 detik; setelah itu pengadukan diteruskan selama 30 detik dengan kecepatan pengadukan 285 ± 10 putaran per menit.
- d. Menghentikan adukan, membersihkan adonan yang menempel di bibir dan bagian atas mangkok pengaduk selama 15 detik, mengaduk mortar selama 75 detik dalam mangkok pengaduk yang ditutup.
- e. Mengulangi kembali pengadukan selama 60 detik dengan kecepatan pengadukan 285 ± 10 putaran per menit.
- f. Adukan mortar dituangkan ke dalam cetakan mortar yang telah diolesi dengan minyak pelumas. Pemberian minyak pelumas pada cetakan bertujuan untuk mencegah mortar menempel pada cetakan serta mempermudah saat melepas benda uji dari cetakan.
- g. Memadatkan menggunakan bantuan penumbuk sebanyak 2 lapis, kemudian permukaan adukan diratakan menggunakan pisau perata.
- h. Menyipkan benda uji pada suhu ruangan selama 24 jam.
- i. Mengeluarkan benda uji dari dalam cetakan.

6. Tahap Perawatan

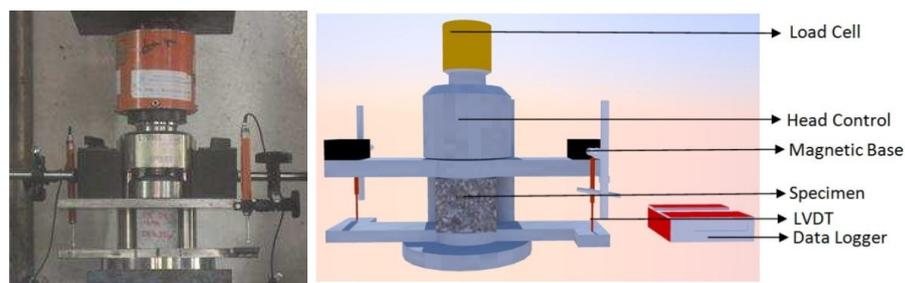
Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan harus dilakukan perawatan sampai pengujian dilakukan yaitu 28 hari. Perawatan dilakukan dengan cara merendamnya dalam air.

7. Tahap Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan karakteristik yang dapat diterima oleh mortar hingga mengalami kehancuran. Urutan kegiatan pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Mengangkat benda uji dari tempat perendaman, kemudian permukaannya dikeringkan dengan cara di lap dan dibiarkan selama 24 jam.
- b. Menimbang dan mencatat berat benda uji.
- c. Meletakkan benda uji pada UTM, menekan benda uji dengan penambahan gaya tetap sampai benda uji tersebut runtuh. Mencatat besarnya gaya maksimum yang bekerja pada benda uji.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dengan bantuan *load cell* dan *data logger*. *Set up* pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Set up* Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

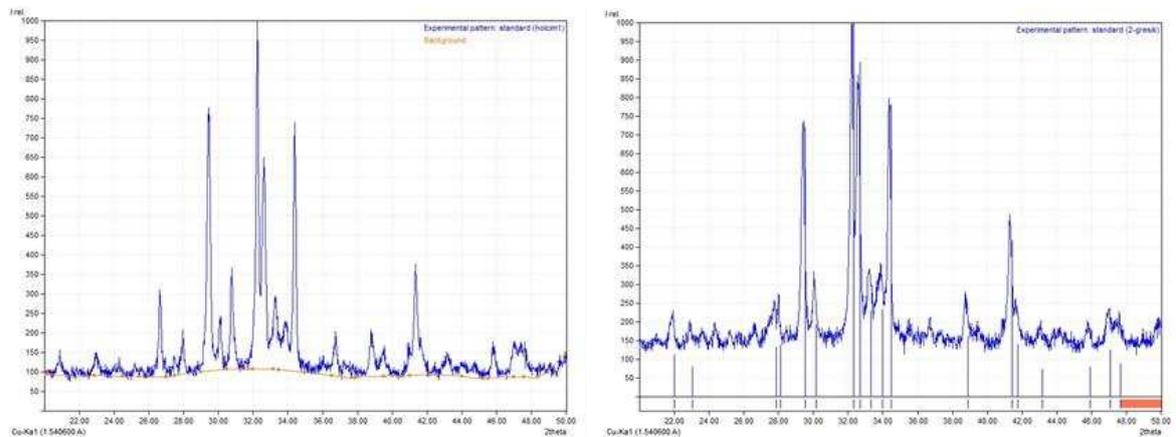
Hasil Pengujian XRD

Grafik hasil analisa XRD seperti yang disajikan pada Gambar 4(a) untuk semen PCC dan (b) untuk semen PPC. Pada grafik tersebut terdapat puncak-puncak yang menunjukkan fase kristal penyusun material tersebut. Puncak-puncak tersebut kemudian dianalisa menggunakan persamaan *Scherrer* sebagai berikut:

$$L = \frac{57,3 \times K \times \lambda}{\beta \times \cos\theta} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana L adalah ukuran butiran kristal (nm), 57,3 adalah faktor koreksi dari derajat ke radian, K adalah konstanta bahan oksida (0,94), λ adalah panjang gelombang yang digunakan (1,5406 Å), β adalah nilai FWHM (deg. didapatkan dari pengujian XRD), dan θ (deg) adalah sudut puncak difraksi kristal.

Dari hasil perhitungan persamaan *Scherrer* didapatkan rerata ukuran bulir kristal 50 nm untuk PCC dan 47 nm untuk PPC. Kategori material nano apabila suatu material memiliki ukuran antara 0 hingga 100 nm. Material semen yang digunakan dalam penelitian ini sudah dapat dikategorikan sebagai material nano. Dari hasil analisa ini juga dapat diketahui bahwa dengan proses milling yang sama, semen PCC menghasilkan butiran yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan semen PPC.



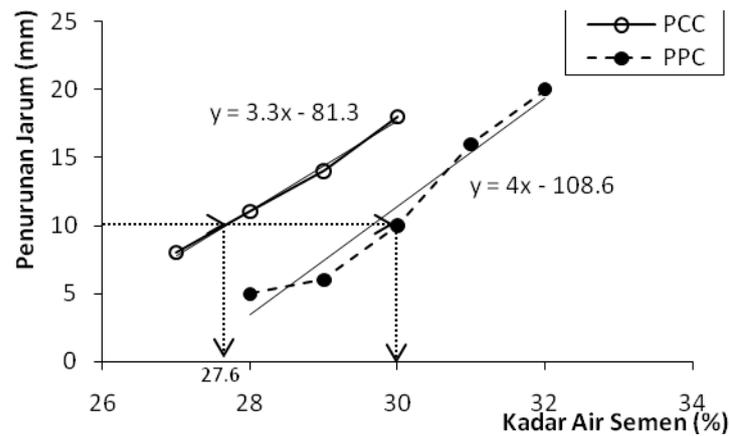
Gambar 4. Grafik Hasil Analisa XRD Butiran Kristal Nano Semen (a)PCC (b)PPC

Analisa Konsistensi Normal

Konsistensi normal merupakan prosentase air yang dibutuhkan semen agar terhidrasi secara sempurna. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan kadar air yang dibutuhkan pada tiap jenis semen. Hasil pengujian seperti yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 5. Dari hasil tersebut diketahui bahwa kedua semen memiliki kadar konsistensi normal yang berbeda. Pada semen PPC konsistensi normal dicapai pada kadar air 27.6% sedangkan pada semen PCC pada kadar 30%. Semen PPC memiliki kadar air yang lebih tinggi untuk mencapai konsistensi normal, dikarenakan bahan campuran pada semen PPC berupa pozzolan yang bereaksi dengan air. Hal ini akan meningkatkan kebutuhan air yang diperlukan semen PPC untuk mencapai konsistensi normal.

Tabel 2. Analisa Konsistensi Normal Semen Tipe PCC dan PPC

Kadar Air (%)	Penurunan Jarum (mm)	
	PCC	PPC
32		20
31		16
30	18	10
29	14	6
28	11	5
27	8	



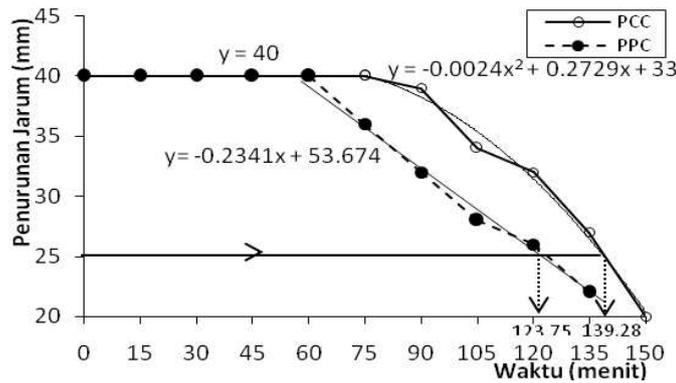
Gambar 5. Grafik Analisa Konsistensi Normal Semen

Waktu Ikat Awal Semen

Waktu ikat awal semen didapatkan pada penurunan jarum vicat sebesar 25mm. Dari hasil percobaan diperoleh waktu ikat awal untuk semen PPC sebesar 139,28 menit dan pada semen PCC sebesar 123,75 menit. Hasil analisa waktu ikat awal semen dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6.

Tabel 3. Waktu Ikat Awal

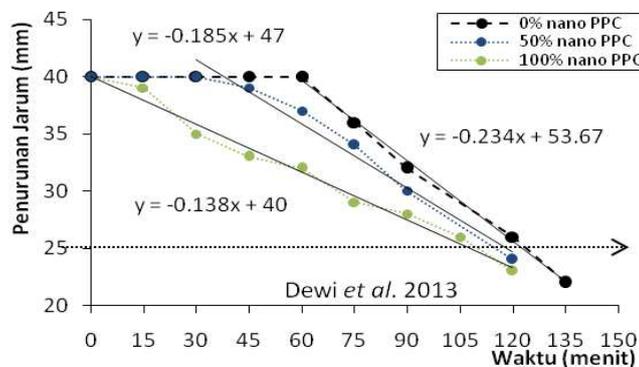
Waktu (menit)	Penurunan Jarum (mm)	
	PCC	PPC
0	40	40
15	40	40
30	40	40
45	40	40
60	40	40
75	40	36
90	39	32
105	34	28
120	32	26
135	27	22
150	20	



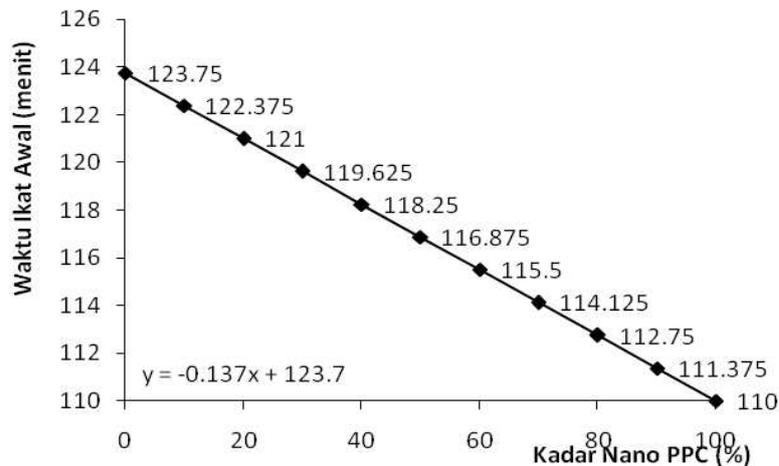
Gambar 6. Grafik Analisa Waktu Ikat Awal Semen

Grafik hubungan antara penurunan jarum vicat dan waktu, dua jenis semen yang digunakan memiliki pola penurunan yang sama. Penurunan jarum vicat pada semen PCC mulai terjadi pada interval menit ke 75-90, sedangkan pada semen PPC mulai terjadi pada interval menit ke 60-75. Hal ini dikarenakan bahan penyusun PCC berupa gypsum yang lebih tinggi dibandingkan dengan PPC. Gypsum digunakan sebagai bahan campuran semen untuk menunda waktu ikat awal. Dari hasil diatas disimpulkan bahwa semen PCC memiliki waktu ikat yang lebih lama dibandingkan dengan semen PPC. Pola waktu ikat awal semen PCC dilukiskan dengan fungsi $f(x) = 40$ untuk nilai $x < 75$ dan $f(x) = -0.0024x^2 + 0.2729x + 33$ untuk nilai $x > 75$ dan semen PPC dilukiskan dengan fungsi $f(x) = 40$ untuk nilai $x < 60$ dan $f(x) = -0.2341x + 53.674$ dimana x merupakan waktu dalam satuan menit dan y merupakan penurunan jarum dalam milimeter.

Grafik ini kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya (Dewi *et al.* 2013). Hasil perbandingan ini seperti yang ditunjukkan Gambar 7. Waktu ikat awal akan semakin cepat dengan bertambahnya komposisi nano semen yang digunakan. Hal ini membuktikan bahwa semakin halus partikel semen yang digunakan maka akan semakin cepat pula proses hidrasi yang terjadi. Dari grafik tersebut kemudian didekati dengan fungsi linier kemudian diinterpolasi untuk mendapatkan grafik hubungan antara prosentase kadar nanosemen dengan waktu ikat awal (Gambar 8). Dari grafik 5 tersebut dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya nano semen yang disubstitusikan akan meningkatkan waktu ikat awal dari semen. Hubungan waktu ikat awal dan kadar nano semen PPC dilukiskan dengan fungsi linier $f(x) = -0.1375x + 123.75$ untuk x dari 0 sampai 100 dengan x merupakan kadar substitusi nano semen PPC dan y merupakan waktu ikat awal dalam menit.



Gambar 7. Grafik Analisa Waktu Ikat Awal Nano Semen (Dewi *et al.* 2013)



Gambar 8. Grafik Hubungan Kadar Nano Semen PPC dengan Waktu Ikat Awal

Pengujian Kuat Tekan Mortar

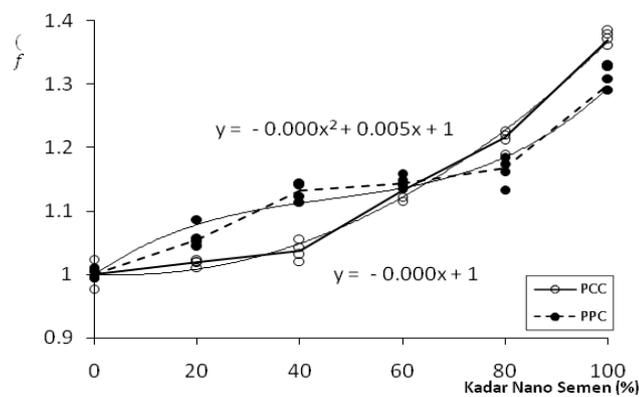
Dari setiap kadar nano semen dibuat benda uji sebanyak 4 buah. Hasil pengujian kuat tekan mortar seperti yang disajikan pada Tabel 4. Dari hasil pengujian tersebut, kemudian dibuat grafik hubungan antara f^c/f_c dengan komposisi nano semen yang digunakan. Parameter f^c/f_c merupakan nilai kuat tekan mortar nano semen dibandingkan dengan kuat tekan mortar semen konvensional. Dari hasil tersebut bisa diketahui besar peningkatan kuat tekan mortar semen nano. Dari masing-masing tipe semen yang digunakan kemudian dibandingkan dan dianalisa. Grafik perbandingan 2 tipe semen yang digunakan seperti yang disajikan pada Gambar 9.

Dari hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan (Tabel 4 dan Gambar 9) terlihat bahwa dengan substitusi nano semen dapat meningkatkan kuat tekan mortar pada kedua jenis semen. Nilai kuat tekan spesimen meningkat seiring dengan peningkatan penambahan jumlah nano semen yang substitusikan. Peningkatan kuat tekan terjadi pada kadar nano semen sebesar 100% untuk kedua jenis semen yang digunakan. Pada semen tipe PCC terjadi peningkatan kuat tekan terbesar sebesar 37% dan untuk semen tipe PPC peningkatan terbesar sebesar 30%. Nilai peningkatan kuat tekan untuk nano semen PCC dilukiskan dengan fungsi $f(x) = 4 \cdot 10^{-5}x^2 - 0.0004x + 1$ untuk x dari 0 hingga 100 dan nano semen PPC dengan fungsi $f(x) = 7 \cdot 10^{-7}x^3 - 0.0001x^2 + 0.0057x + 1$ untuk x dari 0 hingga 100, dimana x merupakan kadar substitusi nano semen dan y peningkatan kuat tekan terhadap mortar konvensional.

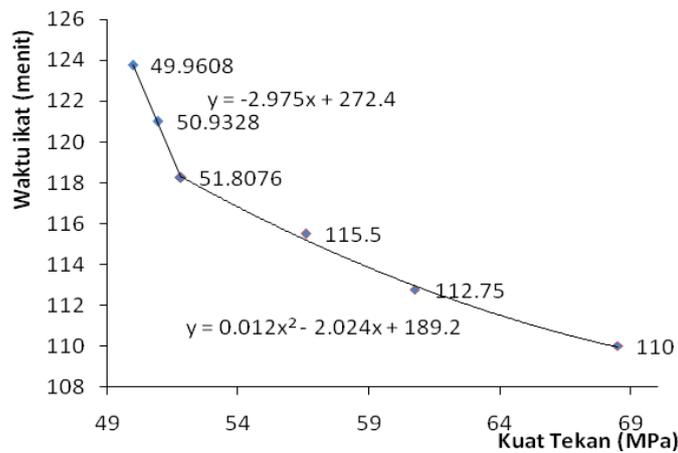
Dari Gambar 8 (waktu ikat awal dan kadar nanosemen) dan Gambar 9 (kuat tekan dan kadar nanosemen) dapat dibuat korelasi dengan mengaitkan sumbu yang sama yang dimiliki tiap grafik, dalam hal ini kadar nanosemen. Dengan demikian bisa didapatkan suatu grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu ikat awal dan kuat tekan nano semen untuk semen tipe PPC seperti yang ditunjukkan Gambar 10.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Kadar Nano Semen (%)	PCC	PPC
	Compressive Strength (MPa)	Compressive Strength (MPa)
0	49.702	49.960
	51.127	50.025
	48.794	50.414
	50.220	50.738
Median	49.960	50.220
20	50.997	52.423
	50.479	52.876
	51.127	54.561
	50.868	53.136
Median	50.932	53.000
40	51.516	57.283
	52.747	56.440
	52.099	57.477
	50.997	55.922
Median	51.807	56.862
60	57.088	57.283
	55.728	57.607
	56.052	58.190
	57.088	56.959
Median	56.570	57.445
80	59.421	56.894
	61.300	58.384
	60.523	58.903
	60.976	59.486
Median	60.750	58.644
100	69.264	65.707
	68.040	66.696
	68.493	66.873
	68.947	64.864
Median	68.493	65.286



Gambar 9. Grafik Kenaikan Kuat Tekan Nano Semen



Gambar 10. Grafik Hubungan Waktu Ikat Awal dan Kuat Tekan PPC

Gambar 10 ini kemudian didekati dengan fungsi linier untuk kadar nanosemen 0 hingga 40% dan didapatkan fungsi trendline $y = -2.9754x + 272.45$ dan fungsi kuadrat untuk kadar nano semen 40 hingga 100% dengan fungsi trendline $y = -0.0127x^2 - 2.0246x + 189.27$ dimana x merupakan kuat tekan dalam satuan MPa dan y merupakan waktu ikat awal dalam satuan menit.

Dari hasil yang disajikan terbukti bahwa dengan penggunaan nanosemen dapat meningkatkan kuat tekan dari mortar. Kuat tekan meningkat dikarenakan ukuran butiran semen yang digunakan lebih kecil, sehingga menyempurnakan reaksi hidrasi yang terjadi. Semakin kecil butiran semen yang digunakan akan mencegah terjadinya hadly grain yang terdapat pada reaksi hidrasi semen pada umumnya. Hal ini juga akan mengurangi terjadinya porositas pada mortar sehingga meningkatkan compact density akibat penggunaan nanosemen. Reaksi hidrasi yang lebih sempurna juga akan meningkatkan produksi gel CSH saat terjadi hidrasi, dan memperkuat ikatan antar agregat yang meningkatkan kuat tekan dari mortar.

KESIMPULAN

1. Semen PCC menghasilkan ukuran nano yang lebih besar dibandingkan dengan semen PPC. Ukuran rata-rata untuk semen PCC pada 50nm sedangkan untuk semen PPC pada 47nm.
2. Waktu ikat awal semen PCC pada 139.28menit lebih lambat dibandingkan semen PPC pada 123.75menit. Pola penurunan jarum yang ditunjukkan kedua semen identik, hanya berbeda pada waktu awal pengerasan saja. Hal ini dikarenakan semen PCC mengandung bahan tambah berupa gypsum yang berfungsi untuk menunda terjadinya wsaktu ikat awal pada semen.
3. Penggunaan nano semen akan meningkatkan waktu ikat awal pada semen. Hal ini terkait ukuran butiran yang lebih halus, sehingga reaksi hidrasi akan lebih cepat dan lebih sempurna.
4. Substitusi semen konvensional dengan nano semen akan meningkatkan kuat tekan dari pada mortar. Peningkatan kuat tekan akan berbanding lurus dengan bertambahnya kadar nano semen yang ditambahkan. Peningkatan terbesar terjadi pada kadar substitusi sebesar 100% untuk kedua jenis semen. Untuk semen jenis PCC peningkatan sebesar 37% dan untuk smen PPC peningkatan sebesar 30%.

5. Kadar substitusi nano semen di atas 60% persen akan optimum menggunakan nano semen jenis PCC. Sedangkan untyuk kadar nano semen di bawah 60% akan optimum menggunakan nano semen jenis PPC.

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh lama penggilingan terhadap ukuran bulir semen yang dihasilkan.
2. Pengamatan panas hidrasi akibat dari penggunaan nano semen perlu diteliti untuk mengantisipasi efek samping dari penggunaan nano semen.
3. Pengaruh penambahan nano semen terhadap lekatan agregat dengan mortar perlu diteliti lebih lanjut

DAFTAR PUSTAKA

- Arteaga, J.C., Chimal, O.A., Yee, H.T., and Torre, S.D., 2013, *The Usage Of Ultra-Fine Cement As An Admixture To Increase The Compressive Strength Of Portland Cement Mortars*, ACI Materials Journal, 42: 152-160.
- ASTM, Section 4 – Construction, Annual Books of ASTM Standards, USA
- Dewi, E., Apsari, K.T., Purwanto., Lie, H.A. (2013). “Pengaruh Komposisi Nano Semen pada Perilaku Beton.” *Jurnal Karya Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, Vol 2 (4), 309-319.
- Hardjasaputra, H., Tirtawidjaya, J., Tanjadu, G.S., 2011. “The Recent Development of Ultra High Performance Concrete (UHPC) in Indonesia,” *The 3rd International Conference of EACEF, Yogyakarta, Indonesia, Building Material*, pp 111-116.
- Jo, B.W., Kim, C.H., Lim, J.H., 2007, *Characteristic of Cement Mortar with Nano-SiO₂ Particles*, ACI Materials Journal, 104: 404-407.
- SK SNI-03-6825-2002, 2002, *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-0302-2004, *Semen portland pozzolan*, Badan Standardisasi Nasional, 2004.
- SNI 15-7064-2004, *Semen portland komposit*, Badan Standardisasi Nasional, 2004